

Un análisis a través de la envolvente de datos (Efficiency of railways international freight: an analysis with data envelopment)

América Ivonne Zamora Torres & Oscar Hugo Pedraza Rendón

Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ciudad Universitaria Edificio ININEE, Morelia, Michoacán.
Email: americazt@hotmail.com

Keywords: data envelopment, economic efficiency, rail freight

Abstract: In this paper based on the methodology of Analysis of Data Envelopment (DEA), the efficiency is calculated 32 countries with the largest trade flows for 2013. During the first stage, the overall technical efficiency is determined, which is calculating the product of pure technical efficiency and the efficiency of scale. In a second, benchmarking analysis given current inputs and outputs as well as the target was carried out. The results shows that the countries of China, United States, Singapore and Thailand show overall technical efficiency; China, United States, Hong Kong, Japan, Singapore and Thailand have pure technical efficiency and the countries of Brazil, Canada, China, United States, India, Russia, Singapore and Thailand have scale efficiency. With respect to Mexico, although it is not efficient according to the results shown there are different proposals and guidelines to follow which should give priority to the decrease of costs by 62.67 percent to the value of 318.57USD; increase rail infrastructure and pathways electrified by 85.88 percent for each item.

Palabras clave: eficiencia económica, Envolvente de Datos, transporte férreo de carga

Resumen: En este trabajo a partir de la metodología del Análisis de la Envolvente de Datos (DEA), se calcula la eficiencia 32 países con mayor flujo de comercio para el año 2013. en una primera etapa, se determina la eficiencia técnica global, la cual es el producto de la multiplicación de la eficiencia técnica pura entre la eficiencia de escala. en un segundo apartado, se realizó un análisis de benchmarking considerando los inputs y outputs actuales de tal forma que derivado del estudio se puedan dar estrategias a seguir para los casos no eficientes. En los resultados se observa que los países de China, Estados Unidos, Singapur

y Tailandia muestran eficiencia técnica global; China, Estado Unidos, Hong Kong, Japón, Singapur y Tailandia tienen eficiencia técnica pura y los países de Brasil, Canadá, China, Estado Unidos, India, Rusia, Singapur y Tailandia poseen eficiencia a escala. Por lo que respecta a México, si bien no es eficiente acorde a los resultados mostrados existen diferentes propuestas y lineamientos a seguir donde se deberá dar prioridad a la disminución de los costos en un 62.67 por ciento hasta alcanzar el valor de 318.57USD; aumentar la infraestructura férrea y las vías electrificadas en un 85.88 por ciento para cada rubro.

Introducción

El transporte férreo es un transporte de tipo terrestre guiado a través de carriles o rieles. En el siglo XIX fue el transporte clave para la Revolución Industrial puesto que fungió como el primer transporte de carga masiva. Este tipo de transporte es ideal para cubrir grandes distancias.

Particularmente para México a pesar de que fue un importante motor de la economía nacional y un instrumento clave para la tecnificación de México, este fue liquidado a las diferentes empresas que hasta ese momento venían proporcionando este tipo de servicio y disponer de la única empresa que en los sucesivo prestará el servicio ferroviario y que sería Ferrocarriles Nacionales Mexicanos.

El tráfico de mercancías por ferrocarril se efectúa normalmente por servicio de carga o exprés. Se entiende por servicio de carga el destinado al transporte de mercancías, cuyo peso o volumen sea de una transportación específica en este sistema de transporte; utilizando vehículos abiertos o cerrados.

Actualmente la red de ferrocarriles es una red longitudinal geográficamente y transporta principalmente minerales y otros recursos naturales en México de las principales ventajas destacan (Foro Económico Mundial, 2011):

- a) Es un medio de transporte muy seguro y está menos afectado por las variaciones del tiempo que cualquier otro medio de transporte.
- b) Es un medio de transporte destinado a movimientos de grandes volúmenes de carga.
- c) Es el más indicado para el movimiento de toda clase de mercancías, desde aquellas de más baja hasta las de más alta densidad económica que se transportan con tarifas reducidas.

- d) Se reconoce al ferrocarril con medio de transporte de superioridad manifiesta sobre otros medios de transporte terrestres, tratándose de transportar mercancías variadas a larga distancia, ya que por su capacidad para mover grandes volúmenes de carga, puede cobrar tarifas bajas, siguiendo su norma de aplicar tarifas de base decreciente a medida que aumenta la distancia.

No obstante, el sistema ferroviario en México así como en varios países particularmente de América Latina es un medio de transporte que a pesar de sus numerosas ventajas se ha quedado en el olvido especialmente al referirse al número de fletes perdiendo terreno en los últimos años sobre el transporte terrestre; ejemplo de esto es el caso de México donde para el 2013 el transporte carretero de carga se utilizó en una 54 por ciento, seguido del transporte marítimo con un 24 por ciento y el transporte férreo cubrió apenas un 6.75 por ciento del total de la carga comercial. Entre las diversas causas del descenso histórico de su uso destacan las políticas públicas y fallas en el servicio logístico interno del propio sistema de transporte.

En los países que han fomentado el uso del sistema férreo de carga se observa que a partir de los nuevos procedimientos regulatorios de uso de suelo principalmente respecto de dicho sistema de transporte¹, se han implementado nuevas formas de gestión originando un acercamiento con los clientes, incrementando la productividad laboral, hubo rebajas en las tarifas y en la mayor parte de los casos se eliminaron las contribuciones públicas para el sostenimiento del servicio lo que se transformó en competitividad en el comercio en general.

Por lo cual el presente trabajo tiene como finalidad determinar la eficiencia del sistema ferroviario de carga para los países con un mayor flujo comercial internacional considerando como inputs la infraestructura en kilómetros, el costo de exportación e importación por este medio de transporte, y las vías electrificadas; y como outputs los plazos de ejecución de exportación e importación y los bines transportados en millones de toneladas por kilómetro.

¹ Donde destaca Argentina con su plan de modernización de la red de carga del Ferrocarril Belgrano; Bolivia con la red Andina y la Occidental; Colombia y México

Revisión de Literatura

En la actualidad México ha mostrado la falta de un sector transporte de carga de talla mundial y de corredores logísticos que integren diferentes modos de transporte, reflejo de esto es el lugar 50 que México ocupa en el Índice de Desempeño Logístico elaborado por el Banco Mundial. Puesto que la tendencia al uso del transporte multimodal es creciente en los países desarrollados mientras que para México el transporte continúa sufriendo por la falta de capacidad y congruencia logística, lo que repercute directamente en la competitividad del comercio internacional.

Investigadores de diferentes partes del globo terráqueo buscan hacer más eficiente este sector por lo que existen números estudios que buscan determinar los factores que inciden en la competitividad del transporte de carga entre ellos se puede mencionar el estudio realizado por El Consejo Privado de Competitividad de Colombia (2012) donde analiza como principales variables la red vial, red férrea, la infraestructura portuaria y la infraestructura aérea; donde dentro de sus principales hallazgos destacan la falta de estructura vial férrea posicionándose en el lugar número sexto (por arriba de México que se localiza en la octava posición), en cuanto al tráfico aéreo Colombia ocupa la tercera posición (México la octava) debido a que sus puertos han llegado a su límite de capacidad.

Para el caos de España el gobierno Español realizó un estudio para poner en marcha un plan estratégico para el impulso del transporte ferroviario de mercancías en el año 2010, debido a que dentro de la Unión Europea es el país con la menor cuota modal de transporte ferroviario de mercancías entre países siendo esta de 4.1 por ciento del total de los países que conforman la Unión Europea. Dentro de las causas observadas acorde con el estudio del gobierno Español de su falta de competitividad en este rubro destacaron los altos costos de utilización del transporte, la falta de inversión en materia de infraestructura lineal y nodal, la falta de calidad puesto que se muestra en el análisis como un servicio no confiable respecto de sus plazos de ejecución.

En el estudio realizado por la CEPAL para el año 2011, se realizaron algunas proyecciones respecto a la implementación de líneas de carga vs ahorro de costos donde se determinó que una línea de carga, con 200 millones de toneladas (kilómetros mensuales) genera un ahorro de 70

millones de dólares, esto sin mencionar la eficiencia energética, el uso racional de suelo y la reducción del número de accidentes. No obstante también señala la CEPAL (2011) es importante considerar variables tales como la capacidad, la infraestructura (tomando como base el sistema de explotación), la velocidad (que repercute en los tiempos de ejecución), incidentes y fiabilidad en itinerarios y los parámetros de equipamiento a fin de que el sistema ferroviario sea efectivamente un transporte modal altamente competitivo. Para el año 2012 la CEPAL señala en otro estudio titulado Integración puerto ferrocarril: Desafíos y oportunidades para América Latina la importancia de la conectividad y remarca la importancia de las conexiones férreas como elemento diferenciador de la competitividad; analizando los casos de América del Norte, Asia Pacífico y Europa mostrando la importancia de la integración puerto-ferrocarril como fuente de competitividad, dentro de las principales conclusiones arrojadas por la CEPAL (2012) destacan la falta de infraestructura férrea y la necesidad de integrar las plataformas logísticas.

La Subsecretaría de Transportes del gobierno chileno (2011) a través de LIBRA Ingenieros Consultores realizó un estudio donde se buscó incentivar la competitividad y eficiencia del mercado ferroviario de carga de Chile destacando la importancia de variables tales como costos de operación, infraestructura desde la perspectiva de número de líneas férreas de carga y volumen de carga.

Metodología

Entre los numerosos conceptos de eficiencia destacan los siguientes:

La eficiencia definida como el grado de optimización del resultado obtenido en relación con los recursos empleados (IGAE, 1997) y la eficiencia como la relación existente entre los bienes y servicios consumidos y los bienes y servicios producido; o lo que es lo mismo, por los servicios prestados (*outputs*) en relación con los recursos empleados a tal efecto (*inputs*), (AECA, 1997).

El modelo de Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica de programación lineal que facilita la construcción de una superficie envolvente o frontera eficiente a partir de los datos disponibles del conjunto de entidades

objeto de estudio conocidas como DMU² propuesto por Farrell. El DEA no necesita especificación de una frontera funcional para la frontera por lo que es un modelo no paramétrico, donde cada DMU obtiene un peso o valor de los *inputs* y *outputs* que maximizan el valor de eficiencia de su producción de tal manera que, una DMU es considerada como eficiente si obtiene un valor igual a 1 y por el contrario si obtiene valores menores que 1, la unidad es ineficiente. A diferencia de los métodos tradicionales basados en ratios de productividad, en los que la búsqueda de medidas globales de valoración de la actuación obliga generalmente a establecer ponderaciones a priori.

Al analizar los datos de cada unidad de producción (o casos ejemplo: escuelas, restaurantes, estados, etc.) se obtienen distintos valores, donde la información obtenida hace referencia a cuatro aspectos principalmente (Fernández & Flórez, 2006):

- El indicador de eficiencia que revela si la unidad objeto del análisis es eficiente o no.
- Las holguras que muestran las cantidades de *inputs* y *outputs* a disminuir o incrementar según sea el caso.
- Las unidades eficientes que se toman como punto de referencia y a la que deberán de aproximarse las demás unidades de análisis.
- Los coeficientes que muestran la importancia de cada indicador en la determinación de la eficiencia.

Farrell (1957) fue el primer autor en introducir una aproximación cuantitativa de la eficiencia al tratar de dar solución a un problema agrícola, proponiendo una medición donde cada unidad de decisión puede ser evaluada en relación a otras unidades homogéneas, de forma tal que la eficiencia se convierte en un concepto relativo y no absoluto, donde el valor tomado por la eficiencia para cada entidad indica la desviación observada respecto a aquellas consideradas como eficientes.

El concepto de eficiencia total de Farrell se compone de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa. La eficiencia técnica refleja la capacidad de una unidad económica para producir el máximo posible dado un conjunto de *inputs*, es decir la habilidad para producir sobre la frontera de posibilidades de producción, dada la tecnología, pudiendo la eficiencia técnica ser medida

² Decision Making Unit

en términos de relaciones físicas entre el *output* observable y el máximo *output* obtenible (posible) para un conjunto de observables *inputs*. Por otro lado, la eficiencia asignativa, denominada también precio-eficiencia, muestra la capacidad de una unidad económica para escoger un conjunto óptimo de *inputs*, dados los correspondientes precios y la referencia tecnológica.

El trabajo de Farrell se complementa con los trabajos de Charnes, Cooper y Rhodes que partían de rendimientos a escala constante CRS (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978), de forma tal que un cambio en los niveles de *inputs* conlleva a un cambio proporcional en el nivel del *output*, donde la eficiencia en presencia de múltiples *inputs* y *outputs*.

La formulación matemática para el modelo desarrollado por Charnes *et al.* (1978) es:

$$\begin{aligned} \max \sum_{k=1}^s v_k y_{kp} & \quad (1) \\ \text{s.t.} & \\ \sum_{j=1}^m u_j x_{jp} = 1 & \\ \sum_{k=1}^s v_k y_{ki} - \sum_{j=1}^m u_j x_{ji} \leq 0 & \quad \forall i \\ v_k, u_j \geq 0 & \quad \forall k, j \end{aligned}$$

donde:

$k = 1$ a s

$j = 1$ a m

$i = 1$ a n

y_{ki} = Cantidad de *output* k producido por el DMU i

x_{ji} = Cantidad de *input* j producido por el DMU i

v_k = Peso dado por el *output* k

u_j = Peso dado por el *input* j

Mientras que más adelante Banker, Charnes y Cooper extendieron el modelo original para incluir rendimientos a escala variables³ (VRS) donde modifican el problema de programación lineal original, agregando una restricción adicional a las especificaciones de las ecuaciones anteriores (Banker, Charnes, & Cooper, 1984) siendo el modelo:

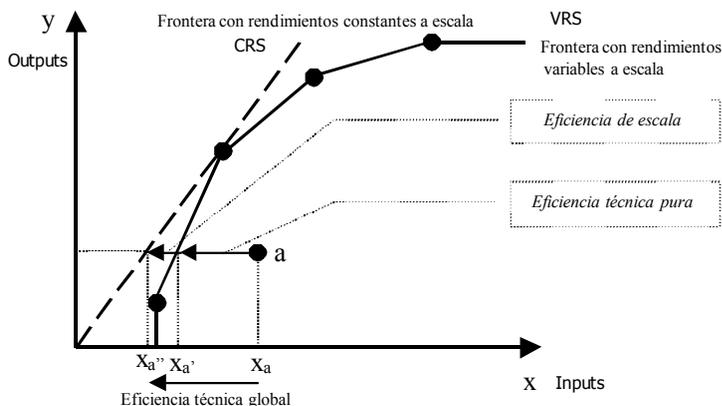
$$\begin{aligned} & \min \theta_k & (2) \\ & \text{Sujeto a:} \\ & \theta_k x_{ik} - \sum_{l=1}^n \lambda_l x_{il} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, M \\ & \sum_{l=1}^n \lambda_l y_{jl} \geq y_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, S \\ & \sum_{l=1}^n \lambda_l = 1 \end{aligned}$$

Al agregar la restricción adicional se asegura que una unidad ineficiente sólo se compare con unidades o DMU de una proporción similar, lo que a su vez permite desagregar la eficiencia técnica global o eficiencia técnica en la eficiencia técnica pura y la eficiencia a escala. Para lo cual es necesario realizar ambos cálculos –mediciones CRS y VRS– y si se identifica una diferencia entre las dos mediciones se puede decir que la DMU posee ineficiencia de escala siendo el valor de esta la diferencia entre las mediciones (Navarro, 2005). Véase Figura 1.

La eficiencia técnica pura coincide con la medición VRS. La ineficiencia de escala se origina de producir en un nivel de escala que no es óptimo, considerando como tal, al que se obtiene de re-escalar la actividad de las firmas eficientes (CRS = 1). La eficiencia técnica global es el producto de las dos eficiencias, técnica pura y de escala, y su medición coincide con el modelo CRS (Navarro, 2005).

Adicionalmente, al calcularse la eficiencia asignativa, el producto de ésta y la eficiencia técnica global da como resultado la eficiencia económica.

³ Función de producción donde si la empresa realiza algún cambio en los inputs la producción registrara igualmente un cambio pero no necesariamente en la misma proporción.

Figura 1. *Eficiencia técnica y eficiencia de escala*

Fuente: Elaboración propia con base en (Giménez, 2009).

A su vez, el modelo puede tener dos tipos de orientaciones, orientación a los *inputs* y orientación a los *outputs*.

La orientación a los *inputs* (recursos, entradas, insumos) permite que dado el nivel de *outputs* (productos, salidas) se maximice la reducción en el vector de los *inputs*, es decir, va a mostrar en cuantas unidades se deben disminuir los *inputs* dado un número fijo de unidades de sus *outputs* para que la unidad analizada sea eficiente. Por lo que se considera constante el numerador del cociente de la fracción (Coll, 2006).

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta & (3) \\ & \text{Sujeto a las siguientes restricciones:} \\ & x_i \theta - X \lambda \geq 0 \\ & Y \lambda - Y_r \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

donde:

θ indica la distancia en *inputs* a la envolvente de datos, o bien, la medida de eficiencia.

X es la matriz de *inputs* de orden

Y es la matriz de *outputs* de orden

λ es el vector de peso o de intensidades

x_i e y_r representan los vectores de *inputs* y *outputs*, respectivamente.

Mientras que la orientación a los *outputs* mide la eficiencia dado un cierto nivel de *inputs*, buscando el incremento máximo de los *outputs* posible dentro de la frontera de posibilidades de producción (Coll, 2006). Donde para este caso el constante es el denominador del cociente de la fracción.

$$\begin{aligned} & \text{Max } Z && (4) \\ & \text{Sujeto a las siguientes restricciones:} \\ & Y\lambda - y_r Z \geq 0 \\ & X\lambda - x_i \leq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

donde:

Z indica la distancia en *outputs* a la envolvente de datos, o bien, la medida de eficiencia.

X es la matriz de *inputs* de orden

Y es la matriz de *outputs* de orden

λ es el vector de peso o de intensidades

x_i e y_r representan los vectores de *inputs* y *outputs*, respectivamente.

Quedando definidos ya los elementos teóricos y conceptuales de la eficiencia y el análisis de la envolvente de datos, surge la pregunta acerca de que se ha hecho en materia de mediciones de eficiencia del transporte de carga férrea con métodos no para métricos primordialmente, a fin de tener una visión más amplia del panorama en general así como un punto de partida.

Una de las limitantes del modelo DEA es el número total de *inputs* y *outputs* que pueden ser incluidos en el análisis; puesto que el número de DMUs analizadas debe ser al menos tres veces superior a la suma de los *inputs* y *outputs* incluidos en el análisis (Cooper, Seiford y Tone, 2006). Por lo que uno de los principales problemas es la selección de las variables o *inputs* y *outputs* a considerar. Derivado del análisis de la revisión de literatura los *inputs* y *outputs* seleccionados fueron:

a) *Inputs*:

- Infraestructura ferroviaria en Km. Esta variable representa el nivel de infraestructura actual en materia férrea.
- Vías férreas electrificadas km. Dicho *inputs* muestra el grado de innovación en materia de transporte férreo.

- Costo de importaciones y exportaciones vía férrea. El costo de transporte da cuenta de cuan económico puede llegar a ser el uso de este sistema de transporte, este indicador es clave puesto que los costos de transporte pueden afectar la competitividad del producto puesto en su destino final.
- b) Outputs:
- Plazo de ejecución de exportaciones e importaciones. Hoy en día los productos para ser competitivos en los mercados nacionales e internacionales deben ser puestos en el lugar de demanda en tiempo, por lo que el plazo de ejecución es un output cada vez más relevante al hablar de comercio.
 - Millones de bienes en tonelada/kilometro. Este output muestra como resultado de los inputs cuanta mercancía realmente se está moviendo a través del transporte de carga férreo.

Resultados

Se estimaron los cálculos de tres tipos de eficiencia: Eficiencia Técnica Global (ETG) -rendimientos constantes a escala-, Eficiencia Técnica Pura (ETP) -rendimientos variables a escala- y Eficiencia de Escala (EE) en un modelo con orientación input. La Tabla 1 muestra que acorde a los valores mostrados en la eficiencia técnica global 4 países resultaron eficientes (considerando rendimientos constantes) en el transporte férreo internacional, siendo estos China, Estados Unidos, Singapur y Tailandia. Mientras que los resultados de la eficiencia técnica pura muestran que 6 países (China, Estado Unidos, Hong Kong, Japón, Singapur y Tailandia) son eficientes considerando rendimientos variables a escala. Por su parte la eficiencia a escala señala a 8 países como eficientes los cuales son: Brasil, Canadá, China, Estado Unidos, India, Rusia, Singapur y Tailandia.

A pesar de que muchos países no presentaron valores de eficiencia (valor igual a 1) por lo que se les puede considerar como ineficientes en la administración de recursos y generación de outputs en materia de transporte internacional férreo dichos países se pueden clasificar en tres grupos: países con rendimientos crecientes, países con rendimientos constantes y países con rendimientos decrecientes.

En el primer grupo se encuentra países que a pesar de no ser eficientes el aumento de un factor genere una subida de mayor proporción al aumento inicial, por lo que se podría decir que van camino a la eficiencia cada uno acorde a los valores obtenidos en los cálculos realizados, dentro de este primer grupo se encuentran los siguientes países: Alemania, Argentina, Australia, Bélgica, Chile, Corea, Costa Rica, Dinamarca, Francia, Indonesia, Italia, México, Panamá, Reino Unido, Suiza, Turquía y Venezuela.

Tabla 1. *Resultados de Eficiencia: CRS, VRS y EE*

DMU	ETG (CRS)	ETP (VRS)	EE	Tipo
Alemania	0.15292	0.1819	0.8406817	creciente
Argentina	0.029211	0.26568	0.1099481	creciente
Australia	0.225314	0.269263	0.8367804	creciente
Bélgica	0.394652	0.423867	0.9310751	creciente
Brasil	0.804003	0.804003	1	constante
Canadá	0.631279	0.631279	1	constante
Chile	0.322299	0.333814	0.9655047	creciente
China	1	1	1	constante
Corea	0.468166	0.502667	0.9313641	creciente
Costa Rica	0.3614	0.5	0.7228	creciente
Dinamarca	0.435458	0.450969	0.9656052	creciente
España	0.301482	0.329071	0.916161	decreciente
Estados Unidos	1	1	1	constante
Francia	0.235994	0.253143	0.9322557	creciente
Hong Kong	0.851354	1	0.851354	decreciente
India	0.401776	0.401776	1	constante
Indonesia	0.585986	0.680272	0.8613996	creciente
Italia	0.277527	0.287334	0.965869	creciente
Japón	0.343508	1	0.343508	decreciente
México	0.258557	0.298918	0.8649763	creciente
Panamá	0.161592	0.167392	0.9653508	creciente
Reino Unido	0.119936	0.128866	0.9307032	creciente
Rusia	0.809653	0.809653	1	constante
Singapur	1	1	1	constante
Suecia	0.535337	0.879559	0.6086425	decreciente
Suiza	0.179971	0.193242	0.9313245	creciente
Tailandia	1	1	1	constante
Turquía	0.148898	0.165979	0.8970894	creciente
Venezuela	0.106123	0.133976	0.7921046	creciente

Fuente: Cálculos de los autores con base en el modelo DEA.

En el segundo grupo (países con rendimientos constantes) se encuentran países cuya característica es que el aumento de un factor genera una subida en igual proporción al aumento inicial y estos son India y Rusia.

Por último el tercer bloque agrupa países con valores decrecientes o bien países que al tener un aumento de un factor genera una subida en menor proporción al aumento inicial, se podría decir también que en este grupo estaría aquellos países más lejanos a un posible mejora en su valor de eficiencia mostrado, los países en que componen este grupo son España, Hong Kong, Japón y Suecia (véase Tabla 1).

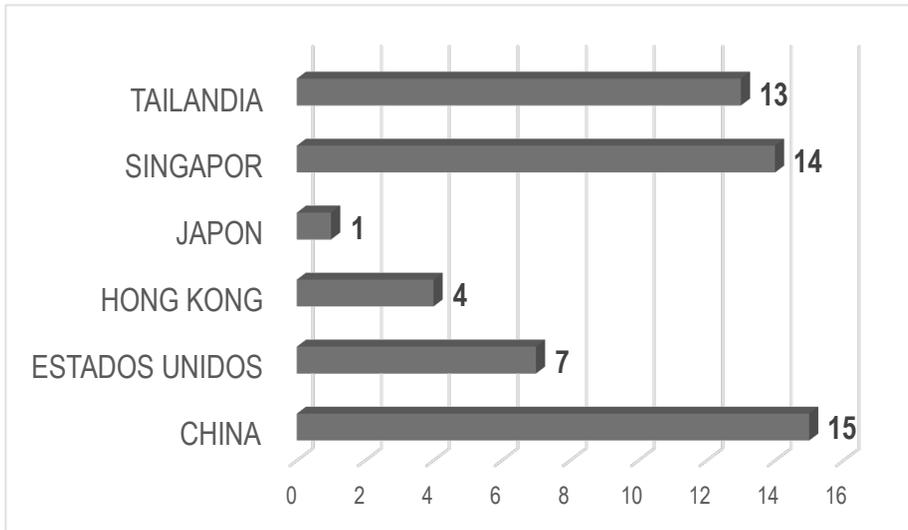
El benchmarking es un anglicismo que se puede definir administrativamente como un proceso sistemático y continuo para evaluar comparativamente los productos en diferentes organismos; permite la comparación con diferentes compañías, países etc. Permitiendo determinar cómo l a mejor de ellas o las mejores han logrado dichos niveles de actuación (Bemowski, 1991).

Por su parte en economía se utiliza como una herramienta destinada a lograr comportamientos competitivos –eficientes-, que consiste en la comparación del desempeño de las empresas u organismos, a través de la métrica por variables, indicadores y coeficientes (Muñoz, 2003).

Por lo que de igual manera en el presente estudio DEA cada unidad o DMU que para este caso son los 29 países analizados comparadas con las DMU eficientes apareciendo estas últimas como valor de referencia para las DMU no eficientes con un peso con el cual se le está comparando o bien con la λ .

De forma tal que, las unidades eficientes son utilizadas como medidas de referencia siendo que para el caso del presente trabajo el país que más número de veces fue utilizado como valor de referencia es China con 15 menciones, es decir fue mencionado en el total de las DMUs no eficientes, seguido de Singapur (14), Tailandia (13). Estados Unidos (7), Hong Kong (4) y Japón con una mención. Véase Figura 2.

Figura 2. Frecuencia en sets de referencia



Fuente: Cálculos de los autores con base en el modelo DEA.

La Tabla 2 muestra información derivada del análisis para cada uno de los inputs y outputs parte del estudio, mostrando los valores por país, puesto que cada país es independiente en sus necesidades de mejora a fin de ser eficientes, de forma tal que se muestran valores para cada input y output clasificados en dos, los valores actuales por país y los valores objetivo o *target* si se quiere llegar a ser eficiente, por lo que únicamente los países que mostraron valores no eficientes se muestran en la tabla.

Como se observa en la Tabla 2 tomando como ejemplo el caso de Alemania en el output de bins se muestra el mismo valor en la columna actual que en la columna *target* por lo que en ese output en particular no se hacen recomendaciones de mejora puesto que, actualmente ya está teniendo un buen desempeño. No obstante para las demás variables es necesario hacer algunos cambios para el caso de los costos de transporte Ferrero en importaciones y exportaciones es necesario reducirlos en un 77.60 por ciento hasta obtener un costo objetivo de 328.11usd, así mismo podría reducirse la inversión en infraestructura y vías electrificadas; por otro parte los plazos de ejecución podrían mejorar en 28.61 por ciento.

Tabla 2. *Inputs y outputs actuales y objetivo*

DMU	Score	Actual Infraestructura Km (I)	Actual Vías electrificadas km	Actual Costo M/X (I)	Actual Plazo de ejecución M/X (O)	Actual Bienes (millones de ton-km)(O)	Target Infraestructura Km (I)	Target Vías electrificadas km	Target Costo M/X (I)	Target Plazo de ejecución M/X (O)	Target Bienes (millones de ton-km)(O)
ALEMANIA	8.8437489	41981	20128	1464.5	76.967742	105794	3712.7133	1554.7154	328.11331	98.991484	105794
ARGENTINA	2.9335405	36966	136	947.5	6	12025	1084.452	3.98976	316.0525	99.485634	12025
AUSTRALIA	11.983475	38445	2717	966.5	76.967742	64172	4607.0606	325.59198	324.15675	99.21216	64172
BELGICA	5.9322571	3233	2950	591.5	86.645161	5439	191.79048	80.864491	314.72546	99.519761	5439
BRASIL	80.415426	28538	467	594.5	80.193548	267700	22948.961	375.54014	358.90075	98.148263	267700
CANADA	99.99997	46552	1	742	83.419355	322741	29388.111	1	369.29913	97.861538	322741
CHILE	3.6027342	7082	850	750	89.870968	4032	255.14694	30.623397	314.61416	99.527243	4032
COREA	9.8368743	3381	1843	500	86.645161	9452	332.58529	139.8009	315.26081	99.498636	9452
COSTA RICA	99.999964	278	1	500	67.290323	1.06	1.0054633	1	314.00001	99.548387	1.06
DINAMARCA	9.7916405	2667	640	556	89.870968	5439	261.14344	62.666592	314.77246	99.519807	5439
ESPAÑA	1.805839	15293	8819	860.5	96.322581	7844	276.16913	116.18522	315.04629	99.507101	7844
FRANCIA	2.7067849	29640	15424	1000	86.645161	22840	802.29895	336.42205	317.04683	99.428161	22840
INDIA	40.180289	63974	18927	982	83.419355	600548	25704.954	7604.9279	397.2569	96.390159	600548
INDONESIA	0.1769706	5042	565	367.5	80.193548	1	1	1	314	99.548387	1
ITALIA	2.0897305	20255	12785	875	89.870968	12037	423.27918	177.76517	315.60566	99.485029	12037
MEXICO	14.123312	17166	22	853.5	80.193548	26704	2424.4129	3.1071353	318.56992	99.408814	26704
PANAMA	99.999967	76	1	1493.5	89.870968	1	1	1	314	99.548387	1
REINO UNIDO	0.0190094	16454	5248	1940	86.645161	1	1	1	314	99.548387	1
RUSIA	80.965339	87157	40300	5000	73.741935	2011308	70567.057	29539.803	582.31824	88.960708	2011308
SUECIA	70.118342	11633	7632	500	99.548387	5439	7235.6081	5351.432	439.76257	99.548387	5439
SUIZA	6.2977259	4876	4604	1300.5	86.645161	8725	307.07873	129.12391	315.16382	99.502463	8725
TURQUIA	6.2882184	8699	1928	1516	83.419355	11030	547.01561	121.23762	315.57914	99.490436	11030
VENEZUELA	2.4389674	806	41	1866	73.741935	1	1	1	314	99.548387	1

Fuente: Cálculos de los autores con base en el modelo DEA.

Resulta interesante observar que las recomendaciones derivadas del análisis en países desarrollados muestran un gasto en infraestructura que sobre pasa los estándares para ser eficiente, mientras que para los países en vías de desarrollo el análisis recomienda un mayor gasto en infraestructura a fin de ser eficientes, ejemplo de esto último son las recomendaciones para México que se pueden resumir de la siguiente manera.

Análisis de resultados para México

Como se observa en las Tablas 1 y 2, así como en la Figura 2, México no obtuvo valores de eficiencia, ni fue referenciado como país modelo en el análisis de benchmarking. Al contrario a fin de ser eficiente tomo como referencia a tres países siendo estos China, Estados Unidos y Hong Kong.

Cabe señalar que a pesar de las grandes diferencias de un sistema ferroviario de carga de un país a otro; el modelo DEA permite la comparación entre los casos o DMUs (en este caso países) más similares entre si; de tal forma que una DMU no eficiente se compara con DMUs eficientes que sean alcanzables o similares en este caso la DMU no eficiente es México y acorde

con los resultados es comparada principalmente con Estados Unidos tomando como valores modelo la infraestructura en kilómetros y el movimiento de bienes (millones de tonelada por kilómetro), de Hong Kong incorpora como modelo de referencia los plazos de ejecución y los costos de transporte férreo en exportación e importación⁴ (ver Tabla 3).

Tabla 3. *Análisis para México*

Contribución de los países pares		
CHINA	Bienes (millones de ton-km){O}	0.54%
CHINA	Costo M/X {I}	0.01%
CHINA	Infraestructura Km {I}	0.21%
CHINA	Plazo de ejecución M/X {O}	0.01%
CHINA	Vías electrificadas km	67.82%
ESTADOS UNIDOS	Bienes (millones de ton-km){O}	99.46%
ESTADOS UNIDOS	Costo M/X {I}	2.49%
ESTADOS UNIDOS	Infraestructura Km {I}	99.75%
ESTADOS UNIDOS	Plazo de ejecución M/X {O}	0.94%
ESTADOS UNIDOS	Vías electrificadas km	0.35%
HONG KONG	Bienes (millones de ton-km){O}	0.00%
HONG KONG	Costo M/X {I}	97.50%
HONG KONG	Infraestructura Km {I}	0.04%
HONG KONG	Plazo de ejecución M/X {O}	99.06%
HONG KONG	Vías electrificadas km	31.84%
Input / Output Contribución		
Costo M/X {I}	0.00%	Input
Infraestructura Km {I}	99.51%	Input
Vías electrificadas km	0.49%	Input
Bienes (millones de ton-km){O}	100.00%	Output
Plazo de ejecución M/X {O}	0.00%	Output

Fuente: Cálculos de los autores con base en el modelo DEA.

En cuanto a las mejoras propuestas derivadas de la Tabla 2 se recomienda para el caso de México disminuir sus costos de transporte férreo en exportación e importación en un 62.67 por ciento hasta alcanzar el valor de 318.57USD; aumentar la infraestructura férrea y las vías electrificadas en un 85.88 por ciento. No obstante las pocas vías férreas que actualmente

⁴ Se considera los costos de carga típica para un contenedor en seco o semi-trailer que incluyen pago de agentes aduanales y flete.

tiene el país muestran un uso óptimo (a pesar de la falta de las mismas) puesto que en la contribución por variable estas mostraron una contribución de 99.51 por ciento aunando a un excelente uso de las mismas con un valor de 100 por ciento en transporte de bienes (millones de toneladas kilómetro). Lo que podría dar pie a derivar que es no solo un transporte que trabaja con poca infraestructura sino que además la poca infraestructura que se tiene se está usando de manera óptima (véase Tabla 3).

Conclusiones

En este trabajo se presenta a partir de la metodología DEA, la medición de la eficiencia técnica, de escala y pura de un modelo de rendimientos constantes y variables a escala con orientación *input*. Se analizan para el año 2013, variables de 32 países con mayor flujo de comercio internacional. Respecto a los resultados arrojados los países de China, Estados Unidos, Singapur y Tailandia muestran eficiencia técnica global; China, Estado Unidos, Hong Kong, Japón, Singapur y Tailandia tienen eficiencia técnica pura y los países de Brasil, Canadá, China, Estado Unidos, India, Rusia, Singapur y Tailandia poseen eficiencia a escala.

Los resultados obtenidos en las diferentes eficiencias analizadas dan cuenta de la necesidad de avanzar en estrategias dirigidas a una reducción de costos y a una mejor combinación de los insumos, si se desean atender los problemas de la eficiencia en un sector fundamental de la actividad internacional y nacional. Entre las diferentes estrategias en pos de un crecimiento sostenido en el sector del transporte férreo cabe resaltar los resultados mostrados en la Tabla 2 del estudio donde se muestran los *inputs* y *outputs* actuales y objetivo para cada país analizado.

En cuanto al caso del sistema de transporte férreo mexicano se observa que si bien no es eficiente acorde a los resultados mostrados existen diferentes propuestas y lineamientos a seguir donde se deberá dar prioridad a la disminución de los costos en un 62.67 por ciento hasta alcanzar el valor de 318.57USD; aumentar la infraestructura férrea y las vías electrificadas en un 85.88 por ciento para cada rubro.

Cabe resaltar que actualmente ya existen cuatro proyectos encaminados a impulsar el sistema ferroviario de carga como eje sustantivo del sistema logístico nacional para su conexión intermodal en el cual se

planea invertir 30 mil millones de pesos, con la finalidad de contribuir a agilizar el movimiento de mercancías para el consumo interno y la exportación que permitirá agilizar la movilidad de bins de consumo nacional y de exportación. Dentro de dichos proyectos destacan los tramos de Aguascalientes-Guadalajara, en Encarnación, que acortará la distancia entre los puertos de Manzanillo y Altamira en aproximadamente 200 kilómetros, y los tiempos de recorrido en alrededor de 16 horas.

El túnel de Manzanillo que liberaría vialidades en la ciudad y agilizará el tráfico con el puerto incrementando la capacidad operativa de movimiento de carros de la Administración Portuaria Integral (API) en 100 por ciento para pasar de dos millones a cuatro millones de contenedores; elevando la capacidad a 22 trenes diarios. Por lo que cabría esperar que efectivamente se realicen estas obras en pro de la eficiencia del transporte de carga férreo y por ende del papel de México en el marco del comercio internacional.

Referencias

- AECA, A. E. (1997). Indicadores de gestión para la entidades públicas. *Serie de Principios de Contabilidad de Gestión*, Documento número 16, 2da Edición, Madrid: Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas
- Anif-Correal, (2011). *Privatizaciones, infraestructura y mercado de capitales*. Bogotá: Asociación Nacional de Instituciones Financieras & Firma Comisionista de Bolsa.
- Banker, R., Charnes, & Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Banker, R., Charnes, A., Cooper, W. Swarts, J. & Thomas, D. (1989). An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses. *Research in Governmental and non Profit Accounting*, 5, 125 -16.
- Barbero, J. (2010). *Freight logistics in Latin America and the Caribbean: An agenda to improve performance*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Bemowski, K. (1991). The benchmarking bandwagon, *Quality Progress*, 24(1), 19-24.
- CEPAL (2011). Evolución de la participación del ferrocarril en el reparto modal del transporte. Facilitación del transporte y el comercio en América Latina y El Caribe, *Boletín FAL*, 303(11), 1-7.
- CEPAL (2012). Integración puertos ferrocarril: Desafíos y oportunidades para América Latina. Facilitación del transporte y el comercio en América Latina y El Caribe, *Boletín FAL*, 310(7), 1-11.
- Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measurement the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.

- Coll, V. &. (2006). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos Edición electrónica*. Recuperado el 01 de septiembre de 2011, de eumed: <http://www.eumed.net/libros/2006c/197/>
- Fernández, Y., & Flórez, R. (2006). Aplicación del modelo DEA en la gestión pública. Un análisis de la eficiencia de las capitales de provincias españolas. *Revista iberoamericana de contabilidad de gestión*, 4(7), 1-29.
- Giménez, V. (2009). *Evaluación de la eficiencia en negocios organizados en red, una introducción a los modelos de frontera no paramétricos*. Torreón, México: Departamento de Economía de la Empresa.
- Gobierno de España (2010). *Plan estratégico para el impulso del transporte ferroviario de mercancías en España*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- IGAE, I. G. (1997). *El establecimiento de objetivos y la medición de resultados en el ámbito público*. Madrid: MEH.
- Muñoz, F. (2003). *Benchmarking y marketig estratégico de ciudades*. Granada: Universidad de Granada.
- Navarro, C. L. (2005). *La eficiencia del sector eléctrico en México*. México: UMSNH.
- Subsecretaría de Transporte (2011). *Análisis del transporte ferroviarios de carga*. Santiago de Chile: Gobierno de Chile & LIBRA Ingenieros Consultores.